



*М.С. Демин, канд. физ.-мат. наук, доцент;
Т.Ф. Морозова, канд. физ.-мат. наук, доцент;
ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
кафедра автоматизированных электроэнергетических
систем и электроснабжения инженерного института*

К вопросу о режиме работы нейтрали в распределительных сетях 10 кВ с кабелями с изоляцией из сшитого полиэтилена

Аннотация. Рассмотрены свойства сшитого полиэтилена и технологии его изготовления. Показаны перспективы применения триингостойкого сшитого полиэтилена в качестве изоляционного материала, обладающего высокими эксплуатационными свойствами.

Рассмотрены особенности функционирования кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена при различных режимах работы нейтрали. Проведён анализ нормативной документации и научных работ, посвящённых применению кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена в распределительных сетях среднего напряжения и указано на противоречивые требования, предъявляемые к ним. Предложены рекомендации по режиму нейтрали при применении кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена в распределительных сетях 10 кВ.

Ключевые слова: режимы работы нейтрали; кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена; однофазное замыкание на землю; силанольная сшивка; пероксидная сшивка; триинги.

Abstract. Properties of cross-linked polyethylene and technology of its production are analyzed. Prospective application of treeing-resistant cross-linked polyethylene as insulating material with high performance properties is shown.

Specific aspects of XLPE cable functioning with different neutral wire operation modes are considered. Analysis of normative documentation and research papers dealing with the use of XLPE cables in medium-voltage distribution networks was performed and contradictory requirements for such cables were pointed out. Recommendations are given concerning the neutral wire operation modes when XLPE cables are used in 10 kV distribution networks.

Key words: neutral wire operation modes; XLPE cables; single phase-to ground fault; silane cross-linking; peroxide cross-linking; treeing.

Материал поступил в редакцию 25.07.2018
Демин М.С. E-mail: demin_ms@mail.ru

Введение

Силовые кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ-кабели) имеют уникальные прочностные, термо- и электроизоляционные характеристики. В настоящее время ведущие энергетические компании России при ремонте существующих и прокладке новых кабельных линий на напряжение 10 кВ применяют именно эти кабели.

Кабели с изоляцией из СПЭ целесообразно [1, 2] применять в кабельных линиях распределительных электрических сетей при необходимости повышения уровня надёжности распределительных электрических сетей, при выполнении проектов кабельных линий, трассы которых проходят по территории с большой разностью уровней прокладки, а также для повышения уровня экологической безопасности.

В соответствии с рекомендациями [1] в распределительных электрических сетях России применяются СПЭ-кабели в одножильном исполнении, что обусловлено преимущественными технико-экономическими показателями в сравнении с трёхжильными. Вышеуказанный документ распространяется и на процедуру определения условий применения

СПЭ-кабелей при различных режимах работы нейтрали электрической сети. Однако в настоящее время в связи с освоением производства трёхжильных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена с жилами секторной формы одножильные кабели утратили своё технико-экономическое преимущество по сравнению с трёхжильными кабелями.

Целью настоящей работы является анализ схемно-режимных условий применения силовых кабелей с СПЭ-изоляцией на напряжение 10 кВ. Данная тема является актуальной, так как технология изготовления высоковольтных силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена одна из наиболее прогрессивных в кабельной технике, но вопросы обоснованности областей их применения в настоящее время решены не полностью.

Свойства и технологии изготовления СПЭ-изоляции

Уникальные свойства СПЭ-кабелей обусловлены технологией их изготовления. Известно, что полиэтилен

имеет линейную структуру молекул. Подвергаясь процессу «сшивки», он приобретает поперечно-сшитую структуру, которая и приводит к улучшению электрических и механических свойств изоляции и обуславливает стойкость к высоким температурам: предельно допустимая температура нагрева токопроводящих жил кабелей в нормальном режиме, режиме перегрузок и при коротком замыкании составляет соответственно 90 °С, 130 °С и 250 °С.

В мировой кабельной промышленности при производстве силовых СПЭ-кабелей используются две технологии «сшивки», принципиальное различие которых заключается в реагенте, с помощью которого происходит процесс «сшивки» полиэтилена: силанольная и пероксидная. Наибольшее распространение получила РЕХа или XLPE технология – пероксидный сшитый полиэтилен, когда «сшивка» полиэтилена происходит с использованием специальных химических веществ – пероксидов в среде нейтрального газа при высоких температурах (300–400 °С) и давлении (0,82–1,22 МПа). Данная технология позволяет получить достаточную степень «сшивки» по всей толщине изоляции и обеспечить отсутствие воздушных включений.

Менее распространённой, но более дешёвой, является технология «силанольной сшивки» – РЕХb или SXLPE, происходящая в присутствии катализаторов и воды, при которой в полиэтилен добавляются силаны для обеспечения «сшивки» при более низкой температуре (80–90 °С).

«Пероксидная» технология применяется преимущественно при производстве СПЭ-кабелей среднего и высокого напряжений, а «силанольная сшивка» распространяется на производство кабелей низкого и среднего напряжений. Существующее мнение о высоком содержании влаги в «силаносшитой» изоляции опровергнуто испытаниями, проведёнными институтом кабельной промышленности (ВНИИКП), которые показали, что химические процессы при сшивании силанами обеспечивают меньшее содержание влаги, чем у пероксидной изоляции [3].

В настоящее время в странах Западной Европы и Америки находят применение триингостойкий сшитый полиэтилен (ТСПЭ), который был разработан с целью устранения недостатка, присущего высокомолекулярным термопластичным полиэтиленам и сшитым полиэтиленам, – развития водных триингов. Кроме способности значительно подавлять развитие водных триингов, при разработке ТСПЭ были учтены такие требования, как способность длительно сохранять высокую электрическую прочность и обеспечивать низкие диэлектрические потери [4].

Для эффективного использования достоинств самого высокотехнологичного на данный момент материала изоляции СПЭ-кабелей необходимо осуществлять их правильный монтаж и эксплуатацию, а также обеспечить оптимальный выбор режима нейтрали.

Особенности функционирования СПЭ-кабелей при различных режимах заземления нейтрали

В многочисленных работах по применению СПЭ-кабелей в сетях среднего напряжения наряду с неоспоримыми преимуществами, отмечают и их недостатки, связанные в том числе и с режимом работы нейтрали, что обусловлено как противоречивыми требованиями нормативной документации, так и условиями их эксплуатации [5–8].

В соответствии с требованиями [9] работа электрических сетей напряжением 2–35 кВ может предусматриваться как

с изолированной нейтралью, так и с нейтралью, заземлённой через дугогасящий реактор (ДГР) или резистор, но отсутствуют рекомендации о том, в каких случаях должен применяться конкретный режим заземления нейтрали.

При проектировании или замене в распределительных сетях городов и промышленных предприятий кабелей с бумажной пропитанной изоляцией (БПИ) на СПЭ-кабели требует уточнения и режим нейтрали электрической сети. Так, в работе [5] отмечается, что кабели с СПЭ-изоляцией в однофазном исполнении не подходят для отечественных сетей 6–35 кВ, эксплуатируемых в зависимости от величины ёмкостного тока замыкания на землю, как правило, с изолированной или заземлённой с помощью дугогасящих реакторов (ДГР) нейтралью. При возникновении в них однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) изоляция «здоровых» жил СПЭ-кабелей может в течение длительного времени находиться под воздействием линейного напряжения [10]. В указаниях [1] рекомендуется в сетях 10 кВ с изолированной нейтралью использование СПЭ-кабеля с условием отключения линии при ОЗЗ или обеспечения снижения высокочастотных перенапряжений, так как не отключённые линии повышают вероятность многоместного пробоя изоляции.

Применение режима заземления нейтрали через ДГР по [1] допускает вероятность длительного сохранения режима ОЗЗ без отключения потребителей. В работе [8] отмечается, что максимальный эффект при применении ДГР достигается только при полной компенсации ёмкостного тока, а поиск повреждения при наличии ОЗЗ связан с нарушением баланса компенсации ёмкостного тока и, как следствие, возникновением перенапряжений.

Известно, что монолитная полимерная изоляция в отличие от БПИ является более чувствительной к посторонним микровключениям и другим дефектам, которые повышают локальную напряжённость электрического поля в твёрдом диэлектрике [11, 12]. Электрический пробой изоляции в кабелях с БПИ при ОЗЗ в 60–70 % случаев самоликвидируется, что обусловлено спецификой диэлектрической среды по сравнению с кабелями с пластмассовой изоляцией, в которых эффект самозалечивания СПЭ-изоляции полностью отсутствует [7]. Как отмечает автор работы [8], отсутствие эффекта самовосстановления изоляции сказывается на принятии решений по действию защиты при ОЗЗ и выбору способа заземления нейтрали. Если действий защиты от отключения не предусмотрено, то в трёхфазных кабелях ОЗЗ постепенно перейдёт в многофазное, а в однофазных – длительное ОЗЗ сопровождается постепенным выгоранием кабеля с переходом системы питания потребителей в неполнофазный режим. Таким образом, при использовании режима нейтрали, заземлённой с помощью ДГР, имеет место накопление и развитие дефектов в изоляционной системе СПЭ-кабелей, размеры которых приводят к образованию электрических триингов – каналов неполного пробоя [7, 13], и как итог – повышение аварийности кабельных сетей.

Поэтому с точки зрения авторов [5, 8, 10], переход в сети 10 кВ от изолированной нейтрали к заземлению нейтрали через низкоомный резистор позволил бы селективно отключать ОЗЗ, что в определённой степени решило бы проблемы воздействия перенапряжений на изоляцию кабелей и применения сложных релейных защит. Проведённый авторами [7, 10] анализ особенностей изоляционной среды СПЭ-кабелей, специфических факторов её старения и зависимости этого процесса от режима заземления нейтрали позволил им предложить в качестве наиболее рационального способа заземления низкоомное резистивное. При этом достигается эффективное ограничение перенапряжений и создание тока,

достаточного для срабатывания защиты при ОЗЗ. В [1] также указывается, что наиболее приемлемым вариантом режима кабельной сети, в которой кабель с изоляцией из СПЭ даёт технический и экономический эффект, является режим заземления сети через низкоомный резистор. В материалах [1, 10] предложен выбор номинала резистора при условии, чтобы ток, создаваемый им в точке ОЗЗ, был примерно равен фазному току самого мощного присоединения.

В то же время в работе [6] отмечается, что реализация резистивного заземления нейтрали, позволяя добиться снижения перенапряжений, приводит к увеличению тока ОЗЗ до 40 %. Поэтому авторами [6] предлагается объединить положительные стороны резистивного заземления и установку ДГР, что достигается их параллельным соединением, таким образом осуществляя комбинированное заземление нейтрали. Данное предположение, по мнению автора [8], не соответствует рекомендациям [14], где дана отрицательная оценка роли резистора, включённого параллельно ДГР. Мнения специалистов, опубликованные в [15, 16], по применению комбинированного заземления нейтрали в сетях 6–35 кВ, противоположны друг другу. Так, по [16] установление параллельно ДГР высокоомного резистора приводит к ограничению перенапряжений, устранению сверхнормативного смещения нейтрали и повышает чувствительность защиты от замыканий на землю. Авторами указываются и целесообразные области применения такого способа заземления нейтрали: изношенные кабельные и кабельно-воздушные сети 6–35 кВ большой протяжённости, где нет возможности быстрого отключения ОЗЗ. По данным [15, 16] применение такого технического решения не оказывает влияния на уровень перенапряжений в сети, а при использовании современных плавнорегулируемых ДГР, настроенных в резонанс, установка параллельно им высоковольтных резисторов не требуется. При этом авторами работ [15–18] не рассматривается возможность применения комбинированного режима работы нейтрали в кабельных линиях с СПЭ-изоляцией.

Как было отмечено ранее, изоляция СПЭ-кабелей в отношении реакции на ОЗЗ не аналогична кабелям с БПИ, поэтому необходимо принять во внимание мнение автора [8], который предлагает провести дополнительное изучение процессов ОЗЗ в кабелях с изоляцией из сшитого полиэтилена, так как от этого зависят выбор типа защит [10] и способ заземления нейтрали в сети 10 кВ. Поэтому в работах [19, 20] рассмотрена зависимость тока ОЗЗ от характера и величины сопротивления заземления нейтрали, где все режимы заземления через резистор подразделяются на две группы: высокоомное и низкоомное резистивное. Граница между данными группами определена значением суммарного тока приблизительно в 10 А в месте замыкания (активного тока резистора плюс ёмкостного тока сети). Однофазное замыкание на землю при высокоомном заземлении нейтрали можно не отключать (суммарный ток не превышает 10 А), а при низкоомном – суммарный ток ОЗЗ может существовать в диапазоне (20–2000 А), что требует действия защит на отключение. Авторы [20], предлагая в качестве инновационных решений высокоомное и низкоомное резистивное заземление нейтрали в сетях 6–35 кВ, тем не менее отмечают, что в отечественных документах указанное разделение не выполнено. Автор работы [19], отмечая наличие двух видов резистивного заземления, указывает, что низкоомное заземление рассчитано на кратковременный режим работы под напряжением и предпочтительно в сетях с пониженным уровнем изоляции. В соответствии с технологиями изготовления РЕХа (PE – PolyEthylene, X – Cross-linked) или

XLPE (cross-linked polyethylene), в СПЭ-кабелях высокий уровень изоляции, но возникающие в них высокочастотные внутренние перенапряжения представляют опасность, для снижения которой необходимо максимально ограничить время их воздействия в переходном и установившемся режимах замыкания на землю. Этого можно добиться при переходе к низкоомному резистивному заземлению нейтрали, когда при возможности обеспечения резервного повреждённый кабель практически сразу же отключается [10].

Кроме этого, режим эксплуатации нейтрали сети, а именно длительность существования ОЗЗ, обуславливает и выбор номинального напряжения кабеля с СПЭ-изоляцией. Так как распределительные сети селитебных территорий городов и промышленных предприятий в настоящее время допускают длительное существование режима ОЗЗ, то соответственно попадают под категорию международного стандарта [21], которая предполагает выбор СПЭ-кабеля с уровнем изоляции выше номинального напряжения сети. Но применение в распределительных сетях СПЭ-кабелей предполагает ограничение времени существования режима ОЗЗ с переходом в категорию международного стандарта, включающего системы, в которых при ОЗЗ происходит отключение фазного проводника от питающей сети за время менее одной минуты. В этом случае номинальное напряжение СПЭ-кабеля должно соответствовать номинальному напряжению сети, что возможно при условии перехода сети 10 кВ к заземлению нейтрали через низкоомный резистор.

Выводы

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что при использовании кабелей с СПЭ-изоляцией, не способной к самовосстановлению, в распределительных сетях 10 кВ необходимо:

- а) рассматривать режим однофазного замыкания на землю как аварийный, требующий автоматического отключения, с переводом питания потребителей по резервной линии;
- б) для улучшения эксплуатационной надёжности изоляции кабелей из сшитого полиэтилена применять низкоомное заземление нейтрали, являющееся благоприятным режимом при использовании СПЭ-кабелей в сетях 10 кВ;
- в) для увеличения срока службы кабельных линий использовать в качестве предпочтительного изоляционного материала «трингостойкий сшитый полиэтилен» (ТСПЭ), обладающий улучшенными эксплуатационными свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. СТО 56947007-29.060.20.020–2009. Методические указания по применению силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 10 кВ и выше. Утверждён и введён в действие распоряжением ОАО «ФСК ЕЭС» от 22.01.2009 № 22р.
2. ГОСТ Р 55025–2012. Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение от 6 до 35 кВ включительно. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2014. – 36 с.
3. Важна ли технология сшивки полиэтилена для кабелей 10 кВ / Кабель РФ. [Электронный ресурс] – URL: <https://cable.ru/articles/id-270.php> (дата обращения: 15.03.2017).
4. Мельденсон А., Аартс М.У. Мировой опыт применения изоляции из трингостойкого сшитого полиэтилена для кабелей среднего напряжения с длительным сроком эксплуатации // Кабели и провода. – 2005. – № 5 (294). – С. 23–29.
5. Дмитриев М. Особенности применения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2015. – № 3 (30). – С. 62–67.

6. Екимов С.С., Цивилёв И.Ю. Особенности эксплуатации кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (защита от перенапряжений, диагностика и испытания) // Кабели и провода. – 2011. – № 2 (327). – С. 22–27.

7. Лавров Ю.А. Кабели 6–35 кВ с пластмассовой изоляцией. Факторы эксплуатационной надёжности // Новости электротехники. – 2006. – № 6 (42). [Электронный ресурс] – URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2006/42/15.php> (дата обращения: 17.01.2018).

8. Фишман В. Способы заземления нейтрали в сетях 6–35 кВ // Новости электротехники. – 2008. – № 2 (50). [Электронный ресурс] – URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2008/50/10.php> (дата обращения: 20.01.2018).

9. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во ДЕАН, 2005. – 854 с.

10. Ширковец А., Сарин Л., Ильиных М., Подъячев В., Шалин А. Резистивное заземление нейтрали в сетях 6–35 кВ с СПЭ-кабелями // Новости электротехники. – 2008. – № 2 (50). [Электронный ресурс] – URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2008/50/14.php> (дата обращения: 03.03.2018).

11. Новые химические технологии. Аналитический портал химической промышленности. [Электронный ресурс] – URL: <http://www.newchemistry.ru> (дата обращения: 16.03.2017).

12. Канискин В.А. Влияние эксплуатационных факторов на электрические свойства и диагностика полимерной изоляции кабелей: дис. ... д-ра техн. наук. – Санкт-Петербург, 1999. – 283 с.

13. Шувалов М.Ю. Инновации кабельной промышленности в области электроэнергетики // Кабель-news. – 2012. – № 4. – С. 38–44.

14. Лихачёв Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией ёмкостных токов. – М.: Энергия, 1971.

15. Назарычев А.Н., Пугачёв А.А., Титенков С.С. Комбинированное заземление нейтрали в сетях 6–35 кВ. Мифы и реальность // Новости электротехники. – 2016. – № 3 (99). [Электронный ресурс] – URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2016/99/05.php> (дата обращения: 05.02.2018).

16. Назарычев А.Н., Пугачёв А.А., Титенков С.С. Комбинированное заземление нейтрали в сетях 6–35 кВ. Мифы и реальность-2 // Новости электротехники. – 2016. – № 6 (102). [Электронный ресурс] – URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2016/102/04.php> (дата обращения: 05.02.2018).

17. Ширковец А., Козлачков М., Сазонов В., Дмитриев И., Панкратов Г., Тимощенко С. Комбинированное заземление нейтрали. Фактор повышения эксплуатационной надёжности сетей 6–35 кВ // Новости электротехники. – 2016. – № 5 (101). [Электронный ресурс] – URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2016/101/03.php> (дата обращения: 05.02.2018).

18. Ширковец А., Козлачков М., Сазонов В., Дмитриев И., Панкратов Г., Тимощенко С. Комбинированное заземление нейтрали. Мифы и реальность-2 // Новости электротехники. – 2016. – № 6 (102). [Электронный ресурс] // URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2016/102/04.php> (дата обращения: 05.02.2018).

19. Фишман В. Заземление нейтрали // Новости электротехники. – 2013. № 6 (84). [Электронный ресурс] – URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2013/84/06.php> (дата обращения: 05.03.2018).

20. Назарычев А., Титенков С., Пугачёв А. Комплексные инновационные решения по заземлению нейтрали в сетях 6–35 кВ // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2016. – № 3 (36). – С. 82–87.

21. Международный стандарт IEC (МЭК) 60502-2-2005, Силовые кабели с экструдированной изоляцией и арматура на номинальные напряжения от 1 кВ ($U_m = 1,2$ кВ) до 30 кВ ($U_m = 36$ кВ) – Часть 2: Кабели на номинальное напряжение от 6 кВ ($U_m = 7,2$ кВ) до 30 кВ ($U_m = 36$ кВ).

НАДЁЖНОСТЬ, ПОДТВЕРЖДЁННАЯ ВРЕМЕНЕМ!



РФ, МО, г. Подольск, ул. Бронницкая, 11

- +7 800 302-78-83
- +7 495 502-78-83
- office@podolskkabel.ru
- www.podolskkabel.ru

ИЗГОТАВЛИВАЕМ БОЛЕЕ

120000

МАРКОРАЗМЕРОВ

ПРЕДЛАГАЕМ НИЗКОВОЛЬТНЫЕ КАБЕЛИ И ПРОВОДА ДЛЯ:

- АТОМНЫХ СТАНЦИЙ;
- НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА;
- ВОЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ;
- ПОДВИЖНЫХ СОСТАВОВ И МЕТРОПОЛИТЕНА;
- АВИАЦИИ И СУДОСТРОЕНИЯ;
- ОБЪЕКТОВ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ.



На правах рекламы

**КАБЕЛИ И ПРОВОДА
ДЛЯ ВОЕННОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

- приемка ВП
- приемка ОС

Опыт работы **БОЛЕЕ 75 лет**

